© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Der Einflufs des Klimacharakters auf die Verbreitung der Pflanzen und Pflanzengesellschaften[1].

Von

H. Brockmann-Jerosch.

Mit 9 Figuren im Text und Taf. VI, VII.

Die exakten Naturwissenschaften haben in den letzten Jahrzehnten immer schönere Erfolge zu verzeichnen gehabt und dadurch einen wachsenden Einfluß auch auf die beschreibenden Naturwissenschaften ausgeübt. Deshalb tritt das Bestreben, auch hier zahlengemäße Resultate zu finden, in der letzten Zeit häufiger hervor und oft werden große Anstrengungen gemacht, um wenigstens einen Schein von mathematischer Exaktheit zu erreichen. So wird selbst in der Pflanzengeographie für ganz komplizierte Funktionen, bei denen viele und dazu noch die verschiedenartigsten Faktoren mitwirken, ein zahlengemäßer Ausdruck zu finden gesucht. Ein gutes Ergebnis ist aber oft von vornherein aus dem Grunde gar nicht zu erwarten, weil sich mehrere Faktoren nicht zusammenfassen lassen und ihr Gewirr sich nicht übersehen läßt. Statt den ganzen Komplex von Faktoren in solchen Fällen darzustellen, wird dann oft nur ein einzelner herausgegriffen und untersucht, weshalb die sich ergebenden Resultate uns nur halb befriedigen können.

Gerade aus solchen Fällen ergibt sich, daß das Suchen nach zahlengemäßen Ausdrücken sich oft nicht rechtfertigen läßt. Auch die Literatur zeigt ja, wie die Versuche, Funktionen lebender Körper in zahlengemäße Ausdrücke zu fassen, meist unbefriedigend bleiben.

1. Isothermen und alpine Baumgrenze.

Auch schon ältere Autoren wie Grisebach und später Drude haben in diesem Sinne Untersuchungen vorgeschlagen. Ganz besonders der letztere trat mit dem Wunsche hervor, daß für jede Pflanzenart die Iso-

1) Dieser Vortrag ist ein Auszug aus einer größeren Arbeit, die in Kürze erscheinen wird. Literatur und Verweise werden nur in dieser vollständigen Ausgabe angegeben werden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

therme zu suchen sei, die ihre Verbreitung bedinge, die also mit der Verbreitungsgrenze parallel gehe. Damit wurde von Drude als selbstverständlich vorausgesetzt, daß die Arealgrenzen den Isothermen parallel laufen. Die heutigen Kenntnisse der Pflanzenphysiologie lassen aber vermuten, daß diese Voraussetzung nicht richtig sein kann, denn neben den Temperaturen werden auch die anderen Klimafaktoren ihren Einfluß geltend machen. Ich habe mir nun die Aufgabe gestellt, an Hand einiger typischer Beispiele zu zeigen, daß eine mathematische Formulierung und damit das Abstellen auf einen einzelnen Faktor zu keinem Ziele führen kann. Es soll vielmehr versucht werden zu zeigen, wie die verschiedenen Klimafaktoren zusammenwirken und daß hier überhaupt nur in bescheidenem Maße von zahlengemäßen Regeln gesprochen werden kann.

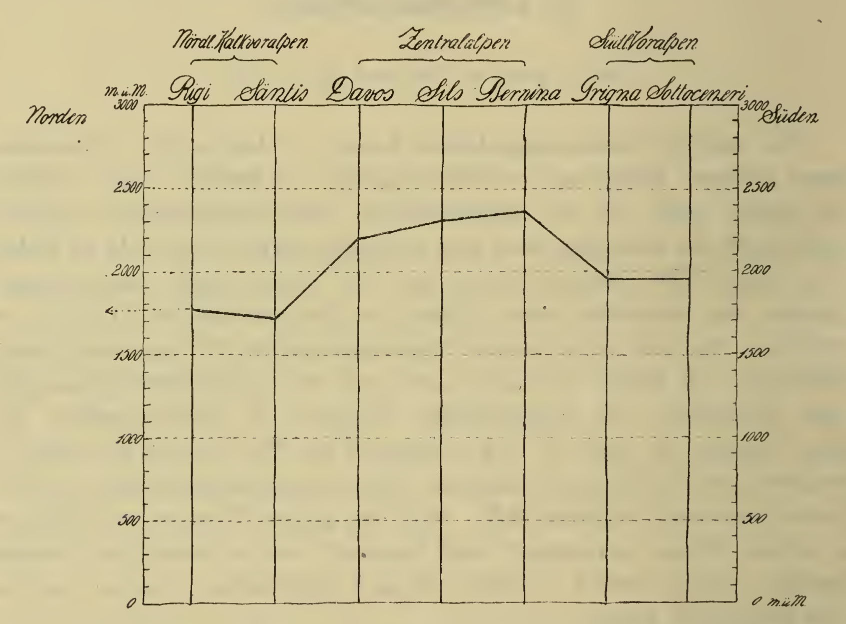


Fig. 1. Die Baumgrenze auf einem Querschnitte durch die östlichen Schweizeralpen.

Wenden wir uns vorerst einer sehr markanten Vegetationslinie zu, bei der wir über verhältnismäßig viele meteorologische Daten verfügen, nämlich der Baumgrenze in den östlichen Schweizeralpen. Auf einem Querschnitte sieht man die allgemein bekannte Tatsache, daß die Meereshöhe der Baumgrenze sich stark ändert. Während die nördlichen und die südlichen Alpenketten eine niedere Baumgrenze haben, steigt sie in den Zentralalpen zu einer ganz bedeutenden Höhe an. Auf der Figur 1 ist in einem NS-Querschnitte die Baumgrenze schematisch dargestellt. Die Orte mußten so gewählt werden, daß für jeden einzelnen mehrere (mindestens zwei) meteorologische Stationen verschiedener Meereshöhe zur Verfügung standen, damit die klimatischen Daten für die in Betracht fallenden Meeres-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

höhen berechnet werden konnten. Der Rigi ist ein Beispiel für eine vereinzelte Spitze mit geringer Massenerhebung, die am ehesten die Verhältnisse des Mittellandes wiedergibt. Der Säntis zeigt den Einfluß ungünstigerer Klimafaktoren. Darauf folgen drei Stationen der Zentralalpen und zwei des südlichen Alpenabfalles, wo die Angaben oft unvollständig sind. Diejenigen des Sottoceneri beziehen sich meist auf den Monte Generoso.

Es ergibt sich aus dieser Figur deutlich, wie dem nördlichen und südlichen Alpenrande ein starkes Ansteigen der Baumgrenze in den Zentralalpen gegenübersteht.

Verglichen mit diesem starken Ansteigen in den Zentralalpen sind alle anderen Verschiebungen in der Höhe relativ klein. Vergleichsweise unbedeutend sind z. B. die Verschiedenheiten der Baumgrenzen im gleichen Tale, wo oft einzig im Hintergrunde der steilen Täler sich ein deutlich erkennbares, wenn auch schwaches Herunterdrücken der Baumgrenze wahrnehmen läßt. Selbst die Unterschiede zwischen den verschiedenen Expositionen, die im Durchschnitt rund 50 m betragen, müssen, verglichen mit dem Ansteigen in den Zentralalpen, als gering bezeichnet werden.

Die auffälligste Verschiebung der Baumgrenze, also ihr Ansteigen in den zentralen Alpenketten, ist schon sehr lange in der pflanzengeographischen Literatur bekannt, ja diese Erkenntnis ist gewissermaßen gerade so alt, als die Pflanzengeographie selbst und deshalb hat es nie an Versuchen gefehlt, diese Erscheinung zu erklären.

In erster Linie wollte man die Niederschläge dafür verantwortlich machen. Die äußeren Alpenketten haben ganz bedeutend mehr Niederschläge als die zentralen und sie sollen es sein, die dort den Baumwuchs herabdrücken. Leicht läßt sich eine solche Ansicht mit Niederschlagszahlen verschiedener meteorologischer Stationen belegen. Die Elevationsniederschläge der äußeren Alpenkette fehlen den zentralen Alpentälern und deswegen sind diese ganz bedeutend regenärmer, wie sich dies bei folgenden Stationen sehr instruktiv ergibt:

	Nördl. Voralpen	Zentralalpen		Südl. Voralpen
	Säntis	Sils Maria	Zermatt	Mte. Generoso
Meereshöhe der Station	2500 m	1811 m	1629 m	1610 m
Niederschläge	251 cm	97 cm	67 cm	192 cm
Baumgrenze	1725 m	2300 m	2400 m	1950 m

Es gibt jedoch eine ganze Reihe von Tatsachen, die von vornherein gegen die Richtigkeit der Annahme sprechen, daß große Niederschlagsmengen je die Baumgrenze herabdrücken, also dem Baumwuchs schädlich sein können. Die Erfahrung lehrt, daß die üppigste Baumvegetation auf der Erde immer nur an feuchten Orten sich findet. Niemals kommt es vor, daß unter sonst guten Verhältnissen der Baumwuchs irgendwie unter zu viel Wasser leidet. Es müßten also gerade die Alpen außergewöhnliche

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Verhältnisse darstellen. Nun sind aber auch hier keine Stellen bekannt, wo der Baumwuchs unter Feuchtigkeit leidet. In den äußeren niederschlagsreicheren, wie in den inneren trockenen Alpenketten gehen die Bäume an den feuchten Nordhängen, längs der Bäche, ja selbst in den Sümpfen, gerade so hoch, wie an trockenen Standorten. Sprechen diese Verhältnisse gegen die gemachte Annahme, so zeigt sich auch bei näherer Überlegung, daß die angegebenen Niederschläge gar kein richtiges Bild der Sachlage geben. Nicht beliebige meteorologische Stationen, sondern einzig die Niederschläge an der Baumgrenze können uns zur Beurteilung der Verhältnisse dienen. Dabei müssen wir allerdings zugeben, daß wir über die Niederschlagsmengen in größeren Höhen der Alpen leider recht wenig wissen. Auch ist es unmöglich aus tiefer oder höher gelegenen Stationen die Niederschlagsmengen für die Baumgrenzen zu berechnen, weil wir über die Abnahme und Zunahme der Niederschläge mit der Höhe in den einzelnen Landesteilen gar nicht genügend unterrichtet sind. Deswegen kann ich nur folgende Zahlen geben, die aber doch zur Genüge beweisen, daß die Niederschlagsmengen im Inneren der Alpen an der Baumgrenze nicht nur nicht geringer, sondern sogar viel größer sein können, als in den äußeren Alpenketten. Der Mangel an Elevationsniederschlägen gilt eben besonders für die Täler der Zentralalpen. Bei der großen Überhöhung der Baumgrenze in den Zentralalpen kommt sie aber in eine solche Meereshöhe zu liegen, in der die Niederschläge wenigstens stellenweise recht erheblich sind. Für die Baumgrenze selbst oder deren Nähe erhalten wir folgende Niederschläge:

	Nördliche Kalkvoralpen	Zentralalpen [1])					Südliche Voralpen
	Rigi	Grimsel	Gotthard	Bernhardin	Julier	Bernina	Generoso
Niederschlagsmenge in der Nähe der Baumgrenze	170 cm	ca. 200 m	ca. 200 cm	ca. 229 cm	ca. 170 cm	160 cm	198 cm
Meereshöhe d. Station	1787 m	1874 m	2096 m	2073 m	2237 m	2309 m	1610 m
Baumgrenze	1750 m	1880 m	1960 m	2100 m	2250 m	2350 m	1950 m

Nach anderen Autoren soll eine andere Erscheinung die relative Depression der Baumgrenze in den äußeren Alpenketten erklären, nämlich eine angebliche Verlängerung der winterlichen Schneebedeckung in den äußeren Alpenketten, oder umgekehrt, das Ansteigen in den Zentralalpen soll durch eine Verlängerung der schneefreien Zeit verursacht sein. Auch hier haben wir nur spärliche meteorologische Angaben. Sie zeigen,

1) Unter den angegebenen Stationen haben nur Julier und Bernina eine überhöhte Baumgrenze, während die anderen, obwohl auch im zentralen Teile der Alpen gelegen, eine verhältnismäßig niedere haben. Es hängt dies indirekt mit der relativ geringen mittleren Höhe zusammen (vgl. Tafel VI).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

daß wir in *gleicher Meereshöhe* in der Tat in den zentralen Alpenketten bedeutend mehr schneefreie Tage haben, als in den äußeren Alpenketten.

Nördliche äußere Alpenkette bei 1800 m ü. M.

Säntis	132	Tage schneefrei		Differenz 41 Tage zwischen Säntis und Sils.
Sernftal ca.	138	» »		
Zentralalpen bei 1800 m ü. M.				
Innsbruck	190	Tage schneefrei	Süd-Exposition	
	152	» »	Nord- »	
Sils Maria	173	» »		

Allein sobald wir die schneefreien Tage *an der Baumgrenze* miteinander vergleichen, so bekommt die Sache ein ganz anderes Aussehen. Wir erhalten dann an der Baumgrenze

Nördliche Alpenketten

Säntis	143	schneefreie Tage
Sernftal ca.	138	» »

Zentrale Alpenketten

Sils Maria	121	schneefreie Tage.

In den Zentralalpen sind an der Baumgrenze also ca. 22 Tage weniger schneefrei, als in den nördlichen Alpenketten, nicht weil dort mehr Schnee liegen würde, aber weil die Baumgrenze in eine viel bedeutendere Höhe emporgeht.

Daß die Dauer der schneefreien Zeit nicht einen besonderen Einfluß auf die Baumgrenze auszuüben vermag, geht übrigens schon daraus hervor, daß auf nord- und südexponierten Hängen die Baumgrenze ziemlich auf gleicher Höhe verläuft, wie bereits früher angegeben, während die zeitweiligen Schneegrenzen sehr verschieden hoch liegen.

Wiederum ein meteorologischer Faktor, der zur Erklärung der relativ niedrigen Baumgrenze in den äußeren Alpenketten herangezogen wurde, ist die *Windwirkung*. In der Tat können ja die Winde baumfreie Gebiete schaffen: Küsten, kleinere Inseln, gewisse Teile von Gebirgshängen sind öfters baumfrei. Allein es zeigt sich hier, daß sich sofort mit dem Windschutz in einem Baumklima wenigstens einzelne Bäume mit Sicherheit einstellen. Hinter den Felsen nnd Dünen der Küste erscheinen sofort Bäume, die im Windschutz stehen und wenn sie auch überall da, wo sie über den Schutz hinausragen, durch die Heftigkeit des Windes abgeschoren werden, so sind doch immerhin Bäume vorhanden. Auch an den polaren Baumgrenzen, wo die Bäume den exponierteren Stellen ausweichen, fehlen sie an den windstillen Orten nicht ganz. In den Alpen haben wir auch häufig Andeutungen von Windschaden, ganz besonders jedoch an der Gebüschvegetation. Am häufigsten und klarsten sehen wir ihn im Frühjahr an unseren immergrünen Sträuchern, z. B. an den Alpenrosen. An den Bäumen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

läßt sich meist, allerdings erst bei genauem Zusehen, ein Windschaden beobachten[1]), allein nie so ausgeprägt und allgemein, wie in Küstenlandschaften. Wenn auch auf einem Gipfel oder Grate der Baumwuchs durch den Wind sehr leidet, so kommen dadurch doch keine baumfreien Gebiete zustande. Wäre das der Fall, so müßte es sich aus den Verhältnissen der Baumgrenze auf der Leeseite ergeben, wo die Bäume dann bis zum Windschutz vorgeschoben wären. Luv- und Leeseite müßten also ganz verschieden hohe Baumgrenzen besitzen. Es läßt sich aber in den Schweizeralpen nichts derartiges erkennen und nie kann man hier die einzelnen Gebiete über der Baumgrenze mit den baumlosen Küstengebieten vergleichen. Die Nadelhölzer, die beinahe immer die Baumgrenze in den

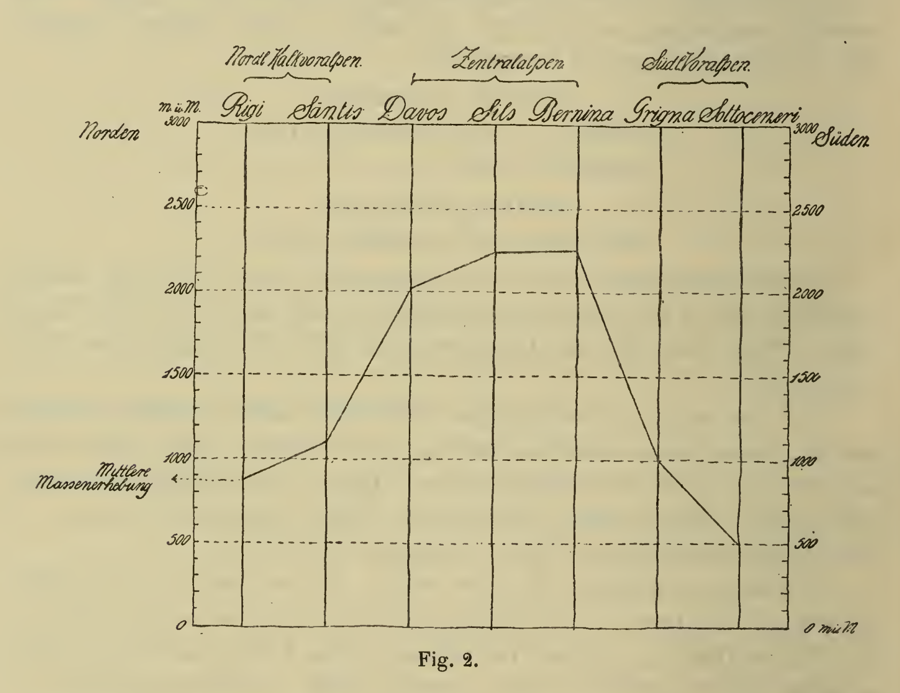


Fig. 2.

Schweizeralpen bilden, sind so windhart, daß sie im Gegenteil gerade auf vorspringenden, dem Wind viel mehr ausgesetzten Gräten als Baumkrüppel in auffallender Weise bis 200 m höher steigen, als in den dazwischen liegenden, windstillen Mulden. Wenn also auch die Winde an einzelnen Stellen die Bäume zu schädigen vermögen, so können sie doch niemals für die tiefe Lage der Baumgrenze in den nördlichen und südlichen Randketten der Alpen verantwortlich gemacht werden.

1) Der hauptsächlichste Windschaden entsteht an der Baumgrenze in Verbindung mit Schneedruck. Die Bäume leiden darunter hier und da wohl stark, zeigen gebrochene Äste und Gipfel, sie wachsen aber eben doch schließlich zu hochstämmigen Bäumen heran.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Viel besser begründet als die bis jetzt besprochenen Erklärungsversuche ist die Annahme, daß die bedeutende mittlere Höhe, also die Massenerhebung, die Baumgrenze steigert. Das Innere der Alpen hat, wie das anderer großer Gebirge, ganz allgemein gehobene Höhengrenzen. Also nicht nur die Baumgrenze, sondern auch andere Vegetationsgrenzen, Waldgrenze, Artgrenzen, Schneegrenze, die höchste Lage ständig bewohnter Siedelungen und die Grenzen vieler Kulturen sind nach oben verschoben. Schon ein bloßer Vergleich der Massenerhebung in den Schweizeralpen mit der Baum- und Waldgrenze zeigt, daß hier ein Zusammenhang bestehen muß. Auf Fig. 2 ist die mittlere Massenerhebung

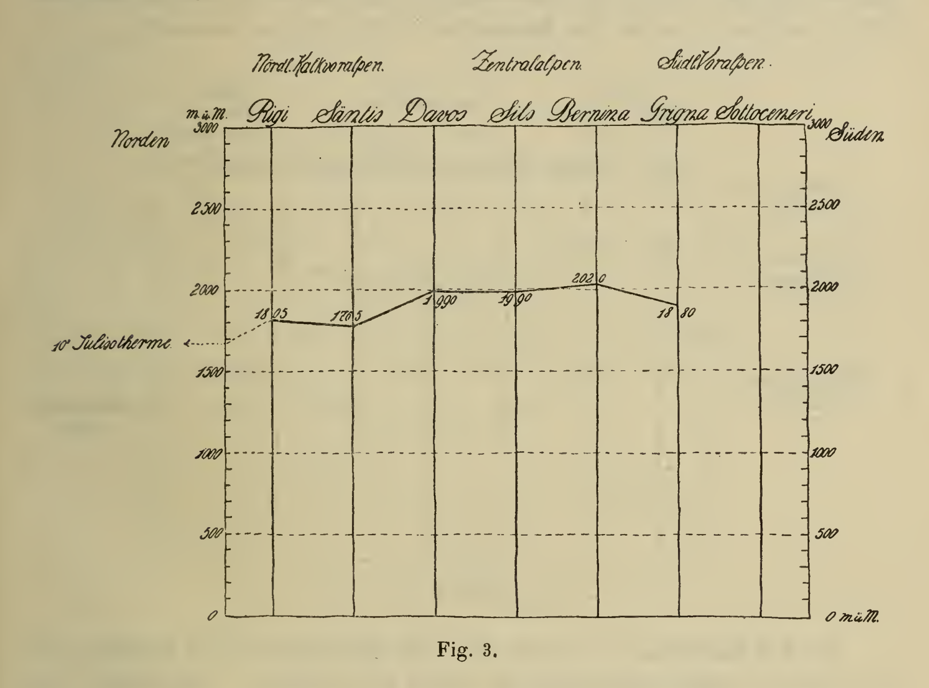


Fig. 3.

der Orte angegeben, deren Baumgrenze in Fig. 1 dargestellt ist. Noch viel eindringlicher redet die Tafel VI. Überall da, wo große Massen des Gebirges die mittlere Höhe heben, zeigt sich die Waldgrenze (die im wesentlichen nach der Arbeit von Imhof dargestellt ist) in beträchtlicher Höhe, so daß ein weitgehender Parallelismus der Waldgrenze mit den Kurven gleicher mittlerer Höhe, die nach Liez eingezeichnet wurden, zustande kommt. Diese Tatsachen sind im wesentlichen schon längst bekannt; sie wurden aber wissenschaftlich erst durch eine Reihe von Schülern von Brueckner für die Schweizeralpen untersucht. Uns interessiert vor allem die Arbeit von de Quervain, der den Einfluß der Massenerhebung auf die Isothermen darstellte. Vor allem gelang es ihm zu zeigen, daß die Isothermen des Sommers im Inneren der Alpen in bedeutenderen Höhen liegen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

als an ihrem Rande. Besonders betrifft dies die Juli-Isotherme von 10°[1]). Sie liegt nämlich in folgenden Meereshöhen:

Nördliche Kalkvoralpen		Zentralalpen			Südl. Voralpen
Rigi	Säntis	Davos	Sils	Bernina	Gringna
1805 m	1765 m	1990 m	1990 m	2020 m	1880 m

Wenn aber auch die 10° Juli-Isotherme gegen das Innere der Alpen hin aufsteigt, wie dies Fig. 3 zeigt, und ihr Verlauf also einen ähnlichen Charakter aufweist, wie der der Baumgrenze, so kann sie doch das Steigen der Baumgrenze im Inneren der Alpen nicht erklären. Die Erhöhung gegenüber dem Alpenrande beträgt für die genannte Temperaturkurve ja nur im Maximum 255 m, während sie bei der Baumgrenze 700—800 m ausmacht.

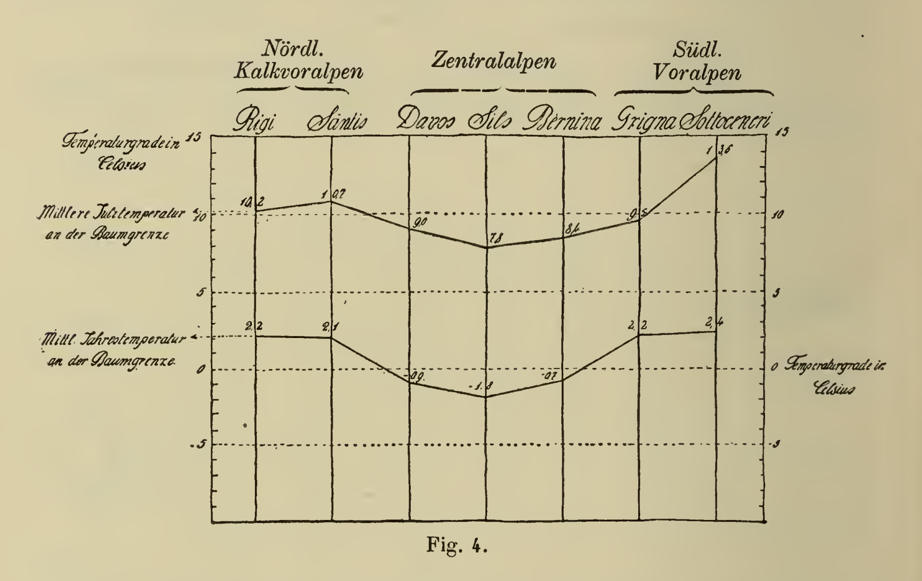


Fig. 4.

Die Juli-Isotherme ist zudem von allen Monatsisothermen diejenige, die am meisten gegen das Innere der Alpen hin ansteigt. Alle anderen verlaufen viel flacher oder fallen sogar gegen die Zentralketten hin. Es ist deswegen nicht ganz richtig, wenn eine Reihe von Autoren durch die Hebung der Isothermen die Erhöhung der Baumgrenze, wie auch der anderen Höhengrenzen, im Inneren der Alpen erklären wollten.

Wenn wir nun andererseits uns die tatsächlichen Temperaturen vor Augen führen, die im Mittel des wichtigsten Vegetationsmonates und des Jahres an der Baumgrenze herrschen, so sehen wir sofort, daß überhaupt keine mittlere Temperaturen für die Lage der Baumgrenze verantwortlich gemacht werden können, sondern daß andere Faktoren hier ausschlaggebend sein müssen.

1) Alle Temperaturangaben selbstverständlich in Celsiusgraden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Mittlere Juli-Temperatur an der Baumgrenze

Rigi	Säntis	Davos	Sils	Bernina	Grigna	Sottoceneri	
10,2°	10,7°	9,0°	7,8°	8,4°	9,5°	13,6°	größte Diff. 5,8°

Mittlere Jahres-Temperatur an der Baumgrenze

Rigi	Säntis	Davos	Sils	Bernina	Grigna	Sottoceneri	
+2,2°	+2,1°	−0,9°	−1,8°	−0,7°	+2,2°	+2,4°	größte Diff. 4,2.

In den Zentralalpen ist also der Baumwuchs bei tieferen mittleren Temperaturen möglich, als in den nördlichen und südlichen Randketten, was sich anschaulich aus Fig. 4 ergibt.

Diese Figur zeigt aber auch, daß die Baumgrenze überhaupt mit keiner Isotherme parallel geht, denn alle anderen verlaufen ihr noch unähnlicher, als die des Juli. Wir werden sogar später zu zeigen vermögen, daß ein solcher Parallelismus überhaupt gar nicht möglich ist.

2. Mitteltemperaturen und Klimacharakter.

Um Sie auf die wirklichen Faktoren hinzuweisen, die in erster Linie die Baumgrenze bedingen, wollen wir uns vorher über folgende Verhältnisse klar werden. Stellen wir uns vor, an zwei Orten, A und B, wäre gleich viel Schnee gefallen und an beiden wäre zu dieser Zeit die Tagestemperatur 0°. Am einen Orte sei jedoch der Tagesausschlag der Temperatur klein, am andern groß, etwa in der Weise, wie es sich durch diese beiden Kurven darstellen läßt.

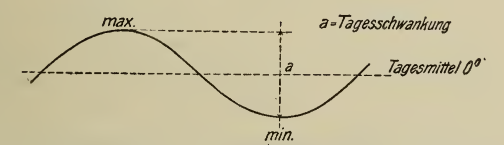


Fig. 5. Temperaturschwankung am Orte A.

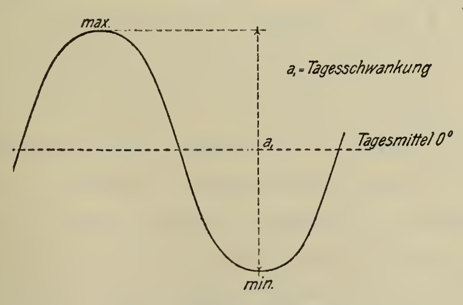


Fig. 6. Temperaturschwankung am Orte B.

Wenn wir uns nun fragen, an welchem Orte der Schnee früher geschmolzen sein wird, so liegt die Antwort auf der Hand: nämlich an dem Orte B, weil hier der Temperaturausschlag groß ist und dabei höhere Temperaturen erreicht werden, als am Orte A.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Nehmen wir nun an, der schwache Temperaturausschlag am Orte A hätte gerade genügt, um während eines Tages den gefallenen Schnee zu schmelzen, während die Mitteltemperatur an diesem Tage nur 0° beträgt. Welcher Durchschnittstemperatur hätte es dann bedurft, um am Orte B in der gleichen Zeit die Schneemenge in Wasser zu verwandeln? Sicherlich wäre dies bei einer Durchschnittstemperatur unter 0° möglich, weil der größere Temperaturausschlag genug Wärme liefert, um den Schnee zu schmelzen, wie das durch die beiden Kurven in Fig. 7 dargestellt wird[1]).

Es braucht also bei großen Temperaturausschlägen die Durchschnittstemperatur nicht so hoch zu sein, wie bei schwachen, um den gleichen Effekt hervorzubringen.

Dieser Punkt bedeutet nach meiner Ansicht die prinzipielle Lösung der Frage. Denn, statt uns die Schmelzung des Schnees, die nur bei Temperaturen über 0° zustande kommt, vorzustellen, können wir uns ebensogut die Minimaltemperatur denken, bei welcher eine physiologische Funktion, z. B. die Assimilationstätigkeit einer Art, gerade noch möglich ist. Nehmen

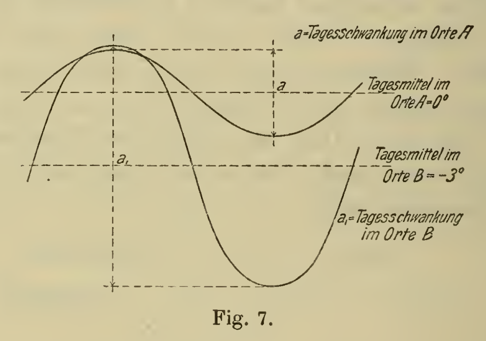


Fig. 7.

wir also an, bei einer Temperatur von 4° könne die Fichte (*Picea*) gerade noch assimilieren. Dann wäre ein Tag mit der Durchschnittstemperatur von 4° für diese Pflanze sozusagen verloren, wenn der Temperaturausschlag gering ist, also nur Temperaturen wenig über der minimalen erreicht werden. Ist der Temperaturausschlag jedoch groß, so ist die Möglichkeit der Assimilation gegeben. Ja, selbst bei einer Durchschnittstemperatur, die noch niedriger ist, als die angenommene Minimaltemperatur von 4°, könnte die Assimilation noch gut stattfinden, wenn nur große Temperaturausschläge vorkommen. Es kann also ein Tag, dessen durchschnittliche Temperatur der minimalen für eine gewisse Funktion (Schneeschmelze, Assimilation usw.) gleichkommt, unter Umständen weniger wert sein, als selbst ein solcher mit einer niedrigeren Temperatur. Es ist eben nicht die Durchschnittstemperatur das Maßgebende, sondern der Temperaturverlauf.

1) Mathematisch genau ist die Darstellung durch diese Kurven nicht, aber sie genügt vollauf, um die Erwägungen klarzulegen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Schwankungen der Temperatur sind zum Teil durch das Verhältnis der Lage des Ortes zum Äquator bedingt (das solare Klima), zum Teil aber abhängig von der Verteilung großer Landgebiete und großer Wasserflächen und daran anschließend von den Luftdruckverhältnissen. Bei gegebener geographischer Breite kommen nur noch die letzteren Faktoren in Betracht, die den Klimacharakter bestimmen. Dieser verkörpert sich in seinen beiden extremen Formen als das ozeanische und das kontinentale Klima, die durch das mittlere Klima verbunden werden. Das ozeanische Klima kennzeichnet sich durch große Gleichmäßigkeit der Klimafaktoren. Der Temperaturverlauf hat geringe Schwankungen. Die Luftfeuchtigkeit und die Niederschläge sind gleichmäßig verteilt und meist groß, während die Lichtintensität, die Wärmeeinstrahlung und Ausstrahlung klein zu nennen sind. Dem entgegengesetzt ist das kontinentale Klima. Es ist gegensatzreich, indem es sich durch Ungleichmäßigkeit auszeichnet. Tiefe und hohe Temperaturen, kurze, heftige, unregelmäßig verteilte und doch im ganzen geringe Niederschläge gehen Hand in Hand mit starker Wärmeeinstrahlung, aber auch mit starkem Wärmeverlust bei Nacht und in der kalten Jahreszeit. Mit den geringen Niederschlägen und der starken Einstrahlung hängt die geringe Luftfeuchtigkeit zusammen.

Das ozeanische Klima findet sich am ausgeprägtesten da, wo Landflächen an das Meer stoßen und von den vom Meere kommenden Winden abhängig sind, was bei der Großzahl der Meeresküsten der Fall ist. Selten sind bei einzelnen Küsten besondere Windverhältnisse so mächtig, daß kein ozeanisches Klima zustande kommt, wie z. B. an der Küste von Marokko, Tunis und Tripolis. Landeinwärts schließt an das ozeanische Klima das mittlere an und dieses geht nach und nach in das kontinentale über.

Aber auch im Innern der Kontinente können Klimate auftreten, die ozeanischen Charakter zeigen. Das Gebirgsklima ist auf der Windseite immer mehr oder minder ozeanisch, wenn wir es mit dem der Umgebung vergleichen. Niederschlagsmenge und Luftfeuchtigkeit nehmen mit der Höhe zu, die Temperaturextreme ab. Die Bewölkung hindert die Einstrahlung, vermindert aber auch die Ausstrahlung. Diesem ozeanischen Klima auf der Luvseite steht das mehr kontinentale auf der Leeseite der Gebirge gegenüber, sofern eine solche den Regenwinden abgekehrte Seite vorhanden ist. Breite Gebirge, die aus mehreren Bergketten bestehen, zeigen jedoch regelmäßig im Innern des Gebirges einen kontinentalen Charakter.

Von den oben genannten beiden Arten von Temperaturkurven ist diejenige des Ortes A mit den schwachen Ausschlägen für das ozeanische, diejenige des Ortes B mit den starken Temperaturschwankungen für das kontinentale Klima charakteristisch. Wir haben demnach also die folgenden Sätze abgeleitet:

1. Bei gleicher, verhältnismäßig niedriger Durchschnittstemperatur wird eine Funktion des Pflanzenkörpers im

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

kontinentalen Klima viel eher möglich sein als im ozeanischen.

2. Die gleiche Funktion des Pflanzenkörpers wird im kontinentalen Klima sogar noch möglich sein bei einer niedrigeren Durchschnittstemperatur als in ozeanischen Verhältnissen.

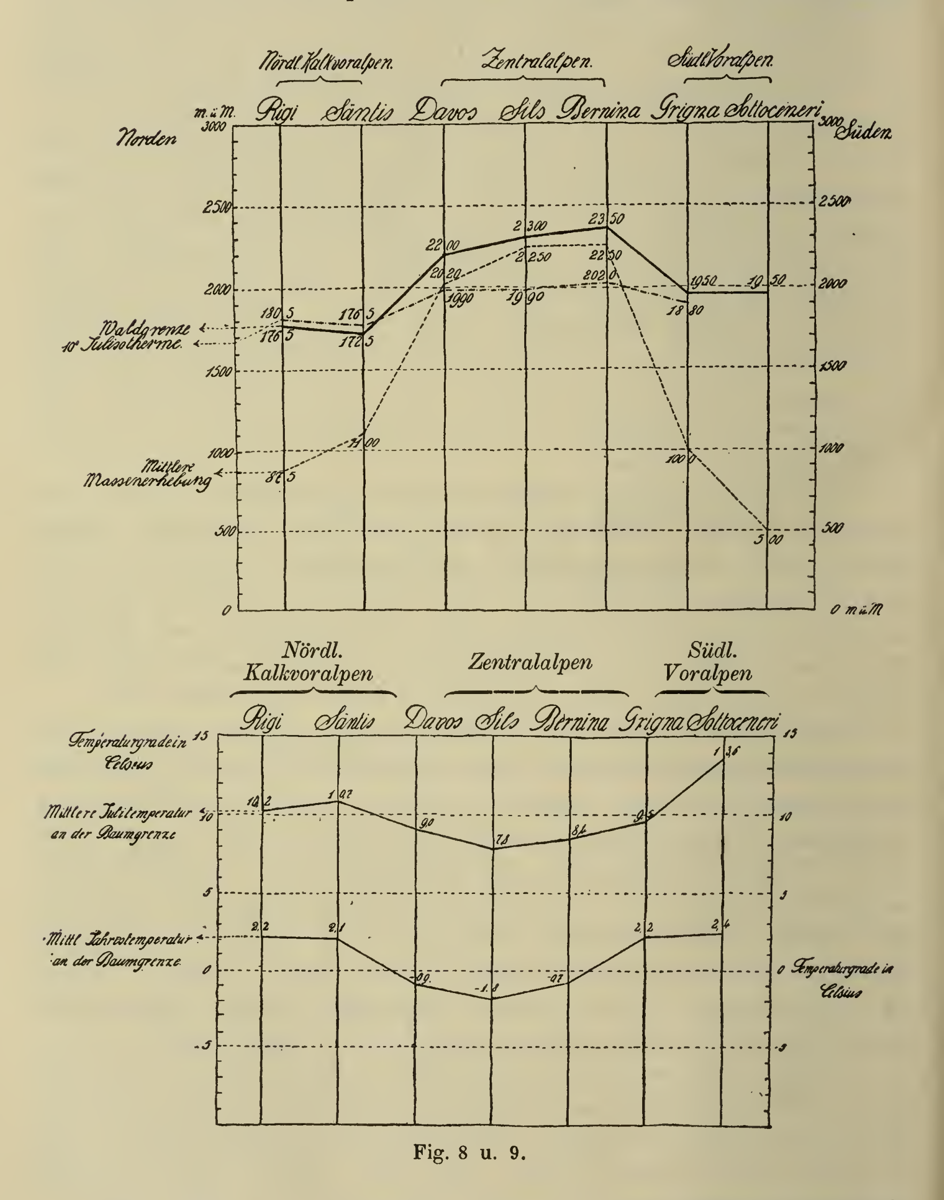


Fig. 8 u. 9.

Wenn diese auf theoretischem Wege gefundenen Sätze richtig sind, so müssen die durchschnittlichen Temperaturen an der Baumgrenze verschieden sein, je nach dem Charakter des Klimas. Im ozeanischen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Gebiet müssen sie hoch sein, im kontinentalen tief. Dies ist auch in der Tat der Fall. Die Alpenränder sind Regenwinden ausgesetzt und sie zeigen viele, zum Teil sehr starke Anklänge an das ozeanische Klima, während die Zentralalpen einen viel kontinentaleren Charakter besitzen, der sich allerdings in den Tälern am schärfsten ausgesprochen zeigt. Gerade die schon früher gegebenen Zahlen lassen deutlich erkennen, wie die Baumgrenze unter kontinentalen Verhältnissen in niedere Mitteltemperaturen vorrückt.

Dies läßt sich schön an den beiden Fig. 8 und 9 verfolgen. Dem Ansteigen der Baumgrenze in der Fig. 8 folgt ein entsprechendes Sinken der mittleren Temperaturen. Je kontinentaler das Klima, desto tiefer die mittlere Temperatur an der Baumgrenze, je ozeanischer, desto höher steigt sie dagegen an[1]).

Damit ist gezeigt, daß die abgeleiteten Sätze in der Tat auf das betrachtete Beispiel anwendbar sind und zugleich haben wir auch damit die Erklärung für das Ansteigen der Baumgrenze in den Zentralalpen gefunden: Nicht irgend eine Durchschnittstemperatur, sondern der Klimacharakter bestimmt die Meereshöhe der Baumgrenze. Das gleiche läßt sich auch auf jede andere Vegetationsgrenze anwenden und daraus ergibt sich, daß es unmöglich ist, daß eine Vegetationsgrenze einer Isotherme parallel gehen kann. Deshalb blieb auch der Wunsch vieler Pflanzengeographen, die für jede Art maßgebende Isotherme zu finden, unerfüllt.

3. Klimacharakter und nordpolare Baumgrenze.

Wenn die Erklärung der verschiedenen Höhe der Baumgrenze in den Alpen richtig ist, so müssen sich ähnliche Verhältnisse auch an der polaren Baumgrenze ergeben[2]). Der südlichste Teil der nordpolaren Baumgrenze liegt nördlich von Großbritannien (s. Tafel VII)[3]). In diesem Lande selbst liegt die Baumgrenze wegen des milden Klimas erstaunlich tief, nämlich bei 600—700 m (in den Penninen). Der ausgesprochen ozeanische Charakter ist es, der sie hier so tief herabdrückt. Die Durch-

---

1) In der Fig. 8 ist links das Wort »Waldgrenze« durch »Baumgrenze« zu ersetzen.

2) Eine genaue Bezeichnung dafür, was wir unter Baumgrenze zu verstehen haben, gibt es nicht. Deswegen kann eine Zusammenstellung aus der Literatur nicht frei sein von der subjektiven Ansicht der verschiedenen Beobachter. Aus dem gleichen Grunde gibt es Angaben, nach denen die Baumgrenze bald viel weiter südlich oder nördlich verläuft. Wir sind bestrebt, die Baumgrenze dahin zu verlegen, wo etwa 5 m hohe Bäume noch regelmäßig zu wachsen vermögen. Im kontinentalen Gebiete ist die Baumgrenze meist viel klarer umschrieben als im ozeanischen. Während die einen Autoren hier Gebiete, wie z. B. Island als baumlos erklären, verlegen andere selbst die Waldgrenze mitten durch die Insel.

3) Im wesentlichen nach Tanfiliew.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

schnittstemperatur beträgt im Juli an der Baumgrenze ca. 12,5 °, im Jahr ca. 6 °. Die nördlich von Großbritannien gelegenen Färöer sind sozusagen baumlos trotz einer Julitemperatur von 10,8 ° und einer Jahrestemperatur von 6,5 °. Auch Island illustriert mit einer Julitemperatur von 11,2 ° und einem Jahresmittel von 4,2 ° gleiche Verhältnisse.

Sehr schön zeigen uns die Gegensätze zwischen ozeanischem und kontinentalem Klimacharakter die beiden sich gegenüberliegenden Küsten von Labrador und Westgrönland. In Lichtenau in Westgrönland bei 60 ° 22 ′ n. Br. beträgt die mittlere Julitemperatur 8 °, die des Jahres + 1,4 ° und Ivigtut (Grönland) bei 61 ° 12 ′ n. Br. hat 9,7 ° mittlere Julitemperatur und eine Jahrestemperatur von + 0,5 °. Die Mitteltemperaturen sind also verhältnismäßig hoch und trotzdem ist Grönland bekanntlich baumlos. Labrador hat leider keine meteorologischen Stationen in der gleichen nördlichen Breite. In der meteorologischen Station Hoffensthal, die bei 55 ° 27 ′ n. Br. liegt, ist die Augusttemperatur etwa dieselbe wie die Julitemperatur in Ivigtut, nämlich 9,9 °, die Jahrestemperatur ist aber bedeutend erniedrigt, nämlich nur — 3,8 °. Trotz der ähnlichen sommerlichen Durchschnittstemperatur und der bedeutend niedereren Wintertemperatur kommen nun in Labrador noch Wälder vor, die stellenweise so dicht sind, daß das Durchdringen schwierig wird. Nadelhölzer, Ebereschen, Erlen und Birken bilden hier die Wälder, die Labrador eben dem kontinentalen Klima verdankt. Sie reichen also hier bis zu Temperaturen weit unter 0 ° im Jahresmittel, die Baumgrenze mag hier mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von — 5 ° zusammenfallen, denn sie liegt noch ganz bedeutend nördlicher als die meteorologische Station von Hoffensthal. Es ist ein gewaltiger Sprung, wenn wir die Jahresmittel der Temperaturen an der Baumgrenze auf den Färöer von + 6,5 ° mit derjenigen von Labrador von ca. — 5 ° vergleichen. Einzig der Klimacharakter kann für solche scheinbaren Gegensätze eine Erklärung bieten.

Noch extremere Verhältnisse wie dort zeigen sich auch beim Vergleich der Baumgrenze im europäischen und asiatischen Rußland. Im europäischen Gebiete geht die Baumgrenze nicht mehr weiter nördlich, als der Boden jährlich völlig auftaut. Polare Baumgrenze und Südgrenze des ewig gefrorenen Bodens fallen also zusammen. In Sibirien jedoch reicht die polare Baumgrenze mit dem kontinentaler Werden des Klimas immer weiter nach Norden. Sie überspringt die Grenze des gefrorenen Bodens, indem das günstige kontinentale Klima auch auf ungünstigem Boden dem Baumwuchs das Dasein ermöglicht. Schließlich wird im Norden des großen asiatischen Kontinentes das Klima so kontinental, daß die Baumgrenze bis zu 72 ° n. Br. verschoben ist, nämlich bis nahe an die Lenamündung. Die dortigen Temperaturen sind leider unbekannt. Doch geben andere meteorologische Stationen etwelche Anhaltspunkte. Jakutsk bei 62 ° n. Br. z. B. zeigt eine mittlere Jahrestemperatur von — 11,1 °. Es kommen hier somit Wälder

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

bei erstaunlich tiefen Temperaturen vor. Bekanntlich finden sich noch große Wälder, die gerade die Gebiete des Kältepoles der nördlichen Hemisphäre bedecken. Es werden eben dort trotz der tiefen Mitteltemperaturen so große Extreme erreicht — bis zu 87° absolute Jahresschwankung — daß noch ausgedehnte Wälder gedeihen. Im aldanischen Gebirge schlägt die Baumgrenze gewissermaßen den Rekord, indem Lärchen selbst bei 61° n. Br. noch in eine Meereshöhe von 1230 m gehen! —

Die in der Literatur oft auftretende Behauptung, daß Jahresisotherme von 0° und Juli-Isotherme von 10° die Baumgrenze bestimmen, wird schon im kleinen Gebiete der Schweizeralpen widerlegt. Obschon hier die alpine Baumgrenze auf dem verhältnismäßig kleinen Raum keine großen Klimagegensätze durchmacht, ist in den ozeanischen Gebieten eine viel höhere Durchschnittstemperatur nötig, nämlich bis zu 13,6° im Juli und 2,4° im Jahr, als in den kontinentaleren, wo eine viel niederere, nämlich 7,8° im Juli und — 1,8° im Jahr genügt. Welcher Wert solchen Mittelzahlen zukommt, ersieht man in noch viel höherem Maße aus der nordpolaren Baumgrenze, weil hier noch viel extremere Klimaformen vorkommen. Da stehen sich Jahresmittel von + 6,5° und — 11° und Julimittel von 11° und 8° gegenüber. Die Jahresmittel sind also gar nicht zu gebrauchen und auch den Julimitteln kommt nur eine geringe Bedeutung zu, trotzdem es sich um Temperaturen der Vegetationszeit handelt.

4. Verhältnis der Temperatur zu den anderen Klimafaktoren.

Bei allen diesen Ableitungen war bis jetzt nur die Rede von den Temperaturen. Dies geschah einzig aus dem Grunde, weil nur hier ein hinreichendes Beobachtungsmaterial vorliegt; wir mussten zu diesen Zahlen greifen. Alle andern Klimafaktoren, wie z. B. Lichtintensität, Wärmestrahlung, Luftfeuchtigkeit usw. spielen ebenfalls eine ganz bedeutende Rolle. Sie wirken aber mit den Temperaturen zusammen und verschärfen ihre Tendenz bald in dieser, bald in jener Hinsicht. Zum Teil äußert sich die Wirkung dieser Faktoren deshalb schon in den Temperaturen. Lichtintensität und Wärmestrahlung z. B. helfen im kontinentalen Gebiete mit, Bäume bei einer durchschnittlich niederen Temperatur noch gedeihen zu lassen. Wie groß aber der Anteil an diesem Resultate ist, läßt sich gar nicht ermessen. Auch die Wirkung anderer Klimafaktoren auf die Temperatur auch nur schätzen zu wollen, ist von vornherein unmöglich. Wenn unter einem bestimmten Klima einem Faktor eine bestimmte Wirkung zukommt, so wird er in einem andern eine ganz andere haben. Eine relativ kleine Regenmenge genügt z. B. bei feuchter Luft und bedecktem Himmel oft noch für eine anspruchsvolle Vegetation, die selbst bei größeren Niederschlägen nicht mehr möglich ist, wenn die Einstrahlung, Ausstrahlung und Lufttrockenheit ungünstig werden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

So ist es unmöglich nach unsern heutigen Kenntnissen, auch nur zwei sich ändernde Klimafaktoren zahlengemäß in ihrer Wirkung auf die Pflanzenwelt zu vereinigen. Ein ganz unlösbares Problem muß es demnach sein, alle Faktoren eines Klimas in eine Formel oder Zahl zu bringen, auch schon aus dem Grunde, da es sich um verschiedenartige Werte handelt.

Aber auch der Klimacharakter läßt sich nicht zahlengemäß fassen, ganz abgesehen davon, daß er häufig nicht ganz rein ausgeprägt ist. Lokale Einflüsse modifizieren immer wenigstens einzelne Faktoren. Zudem ist die Wirkung des Klimacharakters je nach der geographischen Breite unterschieden. In der Nähe des Äquators z. B. entsteht eine Steppe viel rascher als bei gleicher Niederschlagsmenge in größerer Breite, weil die Sonnenintensität dort größer ist. So kommen wir zu dem Schlusse, daß die meteorologischen Mittelwerte, ganz besonders die der Temperaturen, zur Erklärung der Pfanzenverbreitung recht kleine Dienste leisten, daß hingegen alle die Klimafaktoren, die den Klimacharakter kennzeichnen, herangezogen werden müssen.

5. Bedeutung der Minima einzelner Klimafaktoren.

Schon oft ist in der Literatur gelegentlich darauf hingewiesen worden, daß die Mittel der meteorologischen Beobachtungen nicht maßgebend für die Pflanzenverbreitung sein können, ohne daß indes ein Beweis dafür gegeben wurde. Man suchte dann die Begründung oft in den extremen Verhältnissen, ganz besonders in den Minima. Einzelne zu tiefe Temperaturen oder zu trockene Jahre z. B. sollen gewissermaßen über das Vorkommen und Fehlen von Arten entscheiden. Ähnlich wie Spätfröste und trockene Jahrgänge ganze Kulturen zugrunde richten können und wie in solchen Fällen selbst die natürliche Vegetation leidet, stellte man sich offenbar die Wirkung einzelner Minima vor.

Eine ganze Reihe von Erscheinungen weist aber darauf hin, daß den gelegentlich auftretenden Minima der einzelnen Klimafaktoren in der Vegetation eine geringe Rolle zukommt. Es ist zu berücksichtigen, daß Vegetations- und Artengrenzen im großen und ganzen recht stabil sind. Wir können nämlich weder ein Sinken oder Steigen der Baumgrenze noch ein Zurückweichen oder erneutes Vordringen einzelner Waldbäume, noch einen Wechsel im Vorherrschen der Arten beobachten, die mit dem Klima in Zusammenhang stehen[1]). Es ist auch nie bekannt geworden, daß einzelne sehr ungünstige Jahre auf die Vegetation einen namhaften Einfluß ausgeübt hätten. Ja selbst tiefe Minima der Temperatur, wie sie etwa alle 50 Jahre erscheinen, oderganz außergewöhnliche Trockenjahre bringen nur momentane Schädigungen, aber keine Änderungen in der natürlichen Vegetation her-

1) Alle bekannten, klimatisch bedingten Änderungen im Vegetationsbilde gehen auf die Vergangenheit zurück und zwar auf das Diluvium oder stammen aus der direkt nachfolgenden Zeit.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

vor. Selbst wenn die in Mitteleuropa stellenweise häufigen Spätfröste verheerend auf das junge Laub bestandbildender Bäume einwirken, so gehen diese dadurch nicht zugrunde, ja nicht einmal ihr Mengenverhältnis wird gestört.

Der relativ horizontale Verlauf der Baumgrenze spricht im gleichen Sinn und besonders die relativ — von klimatischer Seite betrachtet — geringen Unterschiede der Baumgrenze an süd- und nordexponierten Hängen zeigen wiederum, daß Minima nur einen geringen Einfluß haben können. Gerade in den Alpen sind ja die Klimadifferenzen zwischen den verschiedenen Expositionen groß.

Diese Verhältnisse zeigen, daß nicht das Minimum eines Faktors maßgebend sein kann, sondern das Zusammenwirken aller Faktoren.

Die gewöhnlichen Laboratoriumsversuche der Vertreter der allgemeinen Botanik geben den Pflanzengeographen nur wenig Anhaltspunkte über die Verhältnisse in der freien Natur. Während dort unter künstlichen Bedingungen sich nur ein Faktor ändert, kann in der Natur nur eine gleichzeitige Änderung von vielen vorkommen. Die durch Laboratoriumsversuche eruierten Minima, Optima und Maxima gelten deshalb auch nur für diese künstlichen Bedingungen, nicht aber für die freie Natur. Hier wären die Kurven unendlich viel komplizierter als die im Laboratorium konstruierten und gar nicht übersehbar.

Alles dies wird noch viel verwickelter, weil nicht nur die gegenwärtigen, sondern auch die vergangenen Bedingungen auf die Pflanzen einwirken. Lidforss hat uns solche Verhältnisse experimentell schön dargelegt. Ist mit Zucker ein Frostschutz bei immergrünen Pflanzen hergestellt, so kann die Temperatur tief sinken, ohne daß die Pflanzen einen Schaden leiden, während sie in anderen Fällen ohne Zucker bei bedeutend höherer Temperatur schon »erfrieren«. Der Zuckergehalt der Pflanzen hängt aber ab von einer ganzen Reihe von Faktoren, besonders im vorangehenden Zeitraum, wie die damalige Intensität der Belichtung und Erwärmung usw. Die immergrünen Gewächse leiden im ozeanischen, gleichmäßig warmen und feuchten Winter ohne Schneeschutz unter Umständen gar nicht und sie sind imstande, relativ tiefe Temperaturgrade zu ertragen. Im kontinentalen Winterklima dagegen werden zeitweise hohe Temperaturen, starke Belichtung, frühzeitig die Tätigkeit der Pflanzen anspornen. Sie verwandeln den Zucker in Stärke und auf diese Weise verlieren sie ihren Frostschutz. Nachfolgende weniger tiefe Temperaturen, als sie im ozeanischen Klima vorkamen, bringen dann das immergrüne Laub, vielleicht auch ganze Zweige, zum Absterben. Daraus ergibt sich, daß die gleiche tiefe Temperatur unter verschiedenen Verhältnissen ganz verschiedene Wirkung haben kann. Es sind also auch bei den Minima der Klimawerte nicht die einzelnen Faktoren für sich maßgebend, sondern

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ihre Verbindung. Diese ist aber gegeben durch den durchschnittlichen Klimacharakter, so daß also dieser in erster Linie die Pflanzenverbreitung bedingt.

6. Klimacharakter und Artgrenzen.

Ebenso wie die Grenze des Baumwuchses, so wird auch diejenige vieler Arten durch den Klimacharakter bestimmt. Ein schönes Beispiel hierfür bildet der Verlauf der Grenzen von *Ilex aquifolium* in der Schweiz. Am besten sehen wir das wieder an einem nordsüdlichen Querschnitt, den wir von Singen aus durch die Ostschweiz legen. Das Becken von Singen hat wohl die höchsten Sommertemperaturen der ganzen Gegend, verbunden mit einer kleinen Niederschlagsmenge. Ein Heer von pontischen Arten, die der Donau entlang gewandert sind und von dort aus die Nordgrenze der Schweiz erreichen, kennzeichnet in pflanzengeographischer Beziehung diese Gegend. Trotz der scheinbar günstigen Temperaturen fehlt *Ilex aquifolium* dem Becken völlig. Auch im Kt. Schaffhausen findet sich die Stechpalme nicht (wenigstens nicht sicher) spontan vor. Am Seerücken, der den Bodensee und den Untersee begleitet, kommt sie zerstreut vor, gedeiht dann aber massenhaft in den höheren Molassebergen und besonders gegen den Alpenrand. In St. Gallen steigt sie gar bis zu 1200 m empor und bildet dort gerade mit zunehmender Höhe schöne Bäume. Auch in den nördlichen Alpentälern wächst *Ilex* häufig und erreicht hier Höhen von 1400 m. Weiter südwärts, in den anschließenden zentralen Alpentälern dagegen fehlt er plötzlich. Schon um Chur herum sucht man ihn vergebens. Erst am Südfuße der Alpen erscheint er wieder, wo er dann wie am nördlichen Alpenrande beträchtliche Höhen erreicht. Wenn wir nun die meteorologischen Daten in Betracht ziehen, so wie wir gewohnt sind sie in der Literatur erwähnt zu finden, so ergibt sich dabei nachstehende Tabelle (S. 37).

Aus dieser kleinen Zusammenstellung ergibt sich (abgesehen von der letzten Kolonne) die Unmöglichkeit, an Hand dieser gewöhnlich allein berücksichtigten meteorologischen Daten das Vorkommen und Fehlen von *Ilex* zu erklären. Am ehesten könnten noch die Niederschläge herangezogen werden. Es gibt aber Orte genug, wo *Ilex* mit 60 und 70 cm Niederschlägen vorlieb nimmt und dabei 15—25 cm dicke Stämme bildet, z. B. in gewissen Teilen von Holland[1]). Wenn es die geringe Regenmenge in den Zentralalpentälern wäre, die das Fehlen bedingen würde, so müßte *Ilex* sich hier wenigstens an den feuchten Orten finden, also z. B. an Bächen oder an Quellen. Da aber auch hier die Pflanze fehlt, so gibt

1) In Gelderland gibt es ganze Dickichte von *Ilex*-Bäumen, deren Stämme bis 20 cm Durchmesser erreichen. Die meteorologischen Mittelzahlen sind z. B. folgende: Utrecht (de Bilt): Julimittel 17,0°, Jahresmittel 8,9°, jährliche Niederschlagsmenge 71 cm.

		Julimittel	Jahres-mittel	Niederschlags-menge	*Ilex aquifolium*	Klima
Mittelland	Singen	—	—	—	fehlt	mittel, mit stellenweise (Singen u. Schaffhausen) kontinentalem Anstrich
	Schaffhausen	17,7°	8,0°	79 cm	fehlt	
	Frauenfeld	17,9°	8,1°	89 »	hie u. da, strauch-, seltener baumförmig	
Molasseberge und nördl. Kalkvoralpen	St. Gallen	16,6°	7,2°	130 »	bis 1200 m als Baum	± ozeanisch
	Prättigau (St. Antönien 1460 m)	12,0°	3,6°	136 »	häufig als Baum	
Zentralalpentäler	Chur 610 m	17,5°	8,2°	83 »	fehlt	± kontinental
	Puschlav (Brusio 777 m)	18,5°	9,5°	66 »	fehlt	
Südl. Alpenkette	Tessin (Lugano 275 m)	21,5°	11,4°	170 »	häufig, bis 12 m hohe Bäume und bis 1300 m ü. M.	± ozeanisch

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

uns einzig der Klimacharakter den Schlüssel für das Auftreten oder Fehlen der Stechpalme.

7. Klimacharakter und Grenzen der Pflanzengesellschaften.

Auch die Grenzen der Pflanzengesellschaften lassen ohne weiteres die Einwirkung des Klimacharakters deutlich erkennen. Ein schönes Beispiel bieten uns die Wälder im St. Galler und Churer Rheintal. In dem ersteren herrschen die Laubwälder vor, ganz besonders die der Buchen, *Fagus silvatica*, die selbst auf den trockenen, kaum von Erde bedeckten Kalkfelsen des St. Galler Rheintales fröhlich gedeihen. Vergleichen wir damit das Churer Rheintal, so sehen wir schon bei Ragaz sich einen Wechsel der Baumarten vorbereiten. Auf der spärlichen Bodenkrume vorspringender Kalkhügel finden sich eingestreut in die Laubhölzer einige Rotföhren (*Pinus silvestris*). In Landquart kommen diese Nadelhölzer auch schon auf dem trockenen Alluvialboden vor und an den Talhängen sind sie schon recht verbreitet und nicht mehr nur auf die trockenen Stellen beschränkt. Weiter südlich treten nun rasch die Laubhölzer zurück, die Föhre bildet reine Bestände und schließlich treffen wir bei Chur gar keine natürlichen Buchenbestände mehr an. Die gewöhnlich berücksichtigten Daten können mit ihren Durchschnittszahlen hier wiederum keine Erklärung bringen, wie sich dies aus folgender Zusammenstellung ergibt:

		Julimittel	Jahresmittel	Niederschlagsmenge
Altstätten	Laubholz überwiegt	18,2°	8,6°	129 cm
Sargans	Laubholz überwiegt	17,7	8,7	128 »
Chur	Nadelholz überwiegt	17,5	8,2	83 »

Wenn wir in Betracht ziehen, daß sehr häufig bei nur 60 cm Niederschlägen Laubwälder und auch Buchenwälder möglich sind, z. B. an vielen Orten der Westküste Europas (vgl. darüber oben das über *Ilex* Gesagte), so ergibt sich daraus zur Genüge, wie unmöglich es ist, das Fehlen der Laubwälder bei Chur und ganz besonders den schroffen Wechsel von Laubwäldern zu Nadelwäldern zwischen Landquart und Haldenstein, also auf einer Strecke von nur 10 km aus den angegebenen Zahlen zu erklären. Nur die Änderung des Klimacharakters reicht aus, um die Änderung in der Vegetation uns begreiflich zu machen.

8. Quantitative Förderung des Baumwuchses durch das kontinentale Klima.

Aus diesen Beispielen ersehen wir den großen Einfluß des Klimacharakters auf Vegetationsgrenzen, Arten und Pflanzengesellschaften. Ganz besonders auffällig ist die Förderung des Baumwuchses durch den kontinentalen Klimacharakter. In den Alpen war die Erhöhung, trotzdem hier kein extrem kontinentales Klima in Betracht kommt, schon allein etwa 800 m. Bei der polaren Baumgrenze der nördlichen Halbkugel beträgt

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

die Verschiebung mehr als volle 12 Breitegrade[1]) oder, was noch viel bezeichnender ist, das kontinentale Klima verschiebt den Baumwuchs von einer mittleren Jahrestemperatur von ca. $+6^{\circ}$ in eine solche von -11°. Das kontinentale Klima fördert also quantitativ den Baumwuchs ganz bedeutend.

Dieses Resultat steht mit einer in der pflanzengeographischen Literatur häufig geäußerten Anschauung im Widerspruch. Das Innere der Kontinente zeichnet sich durch kontinentales Klima aus und mit diesem kontinentaler Werden stellen sich immer lichtere Pflanzengesellschaften ein. Die Wälder lösen sich in Gruppen auf, Gebüsche, Sträuche, Gräser und Kräuter werden häufiger und ersetzen bald die Bäume. Diese können völlig verschwinden und die baumlosen Steppen und schließlich die Wüsten herrschen vor. Es wird für diese Baumlosigkeit oft das Klima verantwortlich gemacht. Dies ist aber nicht ganz richtig, wenn auch Baumlosigkeit und ausgesprochen kontinentales Klima oft zusammentreffen können. Es ist dann aber nur ein Faktor des Klimas, nämlich die Niederschlagsarmut, der die Baumlosigkeit schafft. Überall dagegen, wo bei sonst noch so kontinentalem Klima genügend Wasser zur Verfügung steht, können Bäume vorkommen. Längs der wenigen Wasserläufe, an den Quellen und überall, wo der Mensch bewässert, entstehen ja die fruchtbaren Baumoasen.

Auch in einer andern Beziehung fördert das kontinentale Klima den Holzwuchs. Die Trockenheit einer oft bewegten Luft, starke Insolation bei unregelmäßigen und zudem kleinen Niederschlägen verlangt eine Ausrüstung der Pflanzen, bei der der Turgor nur eine kleine Rolle bei der Gestalterhaltung spielen darf. Die Versteifung durch Gewebe muß hier größer sein als in anderen Klimaten, wo fortwährende Feuchtigkeit einen dauernden Turgor ermöglicht. Deswegen sind die perennierenden Pflanzen durch viel Holz versteift. Selbst Steppen- und Wüstengräser erreichen durch große Cellulose-Einlagerung öfters eine Verfestigung, so daß die Blätter unter Umständen mehrere Jahre aushalten können. Selbst die Gräser können dadurch zu einer Art von immergrünen Sträuchern werden. Auch diese Verhältnisse zeigen, daß es falsch ist zu sagen, das kontinentale Klima sei dem Baumwuchs oder gar dem Holzwuchs feindlich, während es ihn in Tat und Wahrheit quantitativ stark fördert.

9. Qualitative Auslese durch das kontinentale Klima.

Dieser starken Förderung des Baumwuchses im quantitativen Sinn steht nun eine qualitative Einschränkung gegenüber. Wir haben uns bis jetzt, um uns an unsere schematische Figur zu halten, nur mit dem Kurvenast beschäftigt, der über das Mittel emporreicht und der den Baum-

1) Vgl. jedoch auch die Anm. 2 auf S. 31.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wuchs günstig beeinflußt. Den absteigenden Teil der Kurve, wie andere Momente, die dabei zum Ausdruck kommen, vernachlässigten wir. Der starke Ausschlag und der häufige Wechsel der Temperatur, die geringen und unregelmäßigen Niederschläge gehen Hand in Hand mit großer Lufttrockenheit, die mit intensiver Insolation verbunden ist. Diese wohl bekannten und oft gewürdigten Eigenheiten des kontinentalen Klimas geben ihm eine Reihe von Momenten, die im Vergleich zum ozeanischen Klima recht ungünstig auf das Pflanzenleben einwirken können. Die anspruchsvolleren Arten sind der Schärfe des kontinentalen Klimas nicht gewachsen und weichen ihm aus, während im ozeanischen — von dem Einfluß der Konkurrenz abgesehen — auch die kontinentalen Arten im allgemeinen gedeihen können. Deshalb sind die ozeanischen Gebiete im großen und ganzen reicher an dominierenden Arten, die kontinentalen ärmer, allerdings nur da, wo der Mensch nicht seinen Einfluß geltend macht. Der tropische Regenwald besteht aus einem Gewirr von vielen Hunderten verschiedener Arten, die kontinentalen Wälder der gemäßigten Zone dagegen haben oft nur drei oder vier, ja oft sogar nur eine einzige vorherrschende Art. Aber auch in der gleichen Breite sind solche Unterschiede recht deutlich. Die Wälder des ozeanischen England bestehen aus einer großen Zahl von laubwechselnden Bäumen, in die oft noch immergrüne eingesprengt sind, während schon in Preußen einförmige Rotföhrenwälder (*Pinus silvestris*) eine große Rolle spielen. Auch im europäischen und asiatischen Rußland hält diese Artenarmut an.

Der Gegensatz der beiden Klimacharaktere schafft auch noch einen anderen Unterschied. Das ozeanische Klima läßt Arten mit den verschiedensten Ansprüchen zu, während das kontinentale eine scharfe Scheidung vornimmt. So finden wir im ozeanischen Gebiete oft das bunteste Gemisch von Arten nebeneinander. Pflanzen, die sonst nur die Berge bewohnen können, stehen neben solchen, die das Tiefland auszeichnen: Die Milde ozeanischer Verhältnisse gestattet einen Kosmopolitismus. Sehr prägnant findet er sich in Großbritannien ausgebildet. In der Landschaft Connemare kommen *Taxus baccata*, *Ilex aquifolium*, *Ulex Galii*, *Listera cordata*, *Arctostaphylos uva ursi* und *Salix herbacea* zusammen vor. Ja, selbst *Dryas octopetala* und *Adiantum Capillus Veneris* finden sich gelegentlich an gleichen Standorten direkt nebeneinander. Bekannt ist übrigens auch das Herabsteigen der Alpenpflanzen an ozeanischen Gebirgsrändern, das Auftreten von Gebirgspflanzen an den Küsten, wie z. B. von *Empetrum nigrum* im Dünensande in Holland und Norddeutschland.

10. Ozeanische und kontinentale Arten.

Durch die Unterschiede des Klimacharakters werden die einen Arten im ozeanischen, die anderen nur im mittleren oder im kontinentalen mög-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

lich sein, wobei selbstverständlich auch die Konkurrenz[1]) eine sehr große Rolle spielt. Da der Klimacharakter für die Verbreitung der Arten bestimmend ist, so ist es auch viel besser, diese Arten nach ihrer Zugehörigkeit zu einem bestimmten Klimacharakter zu bezeichnen, als nach ihrem »Wärmebedürfnis« oder auch nach ihrem »Wasserbedürfnis«, wobei die große Gruppe der »Mesophyten« die Hauptmenge der Arten bildet. Für das ozeanische Klima der gemäßigten Region sind die immergrünen Pflanzen, vor allem die immergrünen Bäume und Sträucher[2]) charakteristisch, wie z. B. *Arbutus Unedo*, *Ilex aquifolium*, *Daphne laureola*. Das mittlere Klima wird durch die laubwechselnden Bäume und das kontinentale durch die Nadeln tragenden Bäume gekennzeichnet.

Selbstverständlich folgen nicht alle Pflanzen dem Einfluß des Klimacharakters, sondern es gibt auch hier indifferente Arten. Immerhin möchten wir hervorheben, daß ihre Zahl viel kleiner sein dürfte, als man vorderhand vielleicht anzunehmen geneigt ist.

Bei der Einteilung in ozeanische, mittlere und kontinentale Arten ist zu berücksichtigen, daß die edaphischen Verhältnisse die klimatischen ersetzen können. Zudem werden diejenigen Arten, die im Schutze von anderen Pflanzen oder des Bodens wachsen, sich dem Einfluß des Klimacharakters mehr oder minder zu entziehen wissen.

In Europa gäbe sich etwa folgende Reihenfolge von charakteristischen Arten für die gemäßigte Region:

1. Ozeanische Arten: *Arbutus Unedo*, *Ilex aquifolium*, *Daphne laureola* und viele laubwechselnde Bäume, z. B.: *Acer pseudoplatanus*.
2. Mittlere Arten: die meisten laubwechselnden Bäume, z. B.: *Fagus silvatica*.
3. Kontinentale Arten: *Pinus silvestris*, *Larix europea*.

Es sind demnach die Laubbäume für das mittlere und ozeanische Klima charakteristisch. Die Nadelbäume fehlen hier oder kommen nur an für den Baumwuchs sehr ungünstigen Orten vor (Hochmoore). Ja, sie meiden sogar dieses Klima auch bei zunehmender Höhe. Es kommt dann das für einen Mitteleuropäer auffällige Bild zustande, daß die laubwechselnden Bäume die Grenze bilden, wie z. B. in den Vogesen, wo die niedere obere Grenze des Baumwuchses durch Buchen gebildet wird. Südlich der Alpen finden wir diese Verhältnisse im Kanton Tessin und an der Westküste der Balkanhalbinsel. Auch hier sind die Buchen die Pioniere

---

1) Wird diese durch die Kultur aufgehoben, so können viele kontinentale Arten im ozeanischen Klima und umgekehrt ozeanische Arten im kontinentalen Gebiete mehr oder minder gut gedeihen.

2) In der gemäßigten Region müssen die immergrünen Blätter selbstverständlich xerophil gebaut sein, weil schon der kalte Winter allein einen starken Transpirationsschutz verlangt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

des Baumwuchses und entsprechend dem ozeanischen Klima verläuft die Baumgrenze in verhältnismäßig niederer Meereshöhe.

In den ozeanischen Gebieten, an der nordpolaren Baumgrenze, wiederholen sich diese Verhältnisse. Hand in Hand mit der äquatorialwärts verschobenen Baumgrenze geht der Umstand, daß sie aus laubwechselnden Bäumen besteht: Ebereschen (*Sorbus aucuparia*) und Birken (*Betula*) bilden in Island und in Westgrönland bezeichnenderweise die letzten Baumreste. Umgekehrt sind die Nadelhölzer in der gemäßigten Region der nördlichen Hemisphäre für das kontinentale Klima charakteristisch und aus ihnen besteht hier ausnahmslos die Baumgrenze. Die laubwechselnden Laubbäume bleiben hier weit hinter der Baumgrenze zurück.

11. Scheinbare Gegensätze in der Vegetation.

Die verschiedene Wirkungsweise des Klimacharakters, einerseits die quantitative Förderung und anderseits die qualitative Einschränkung schaffen eine ganze Reihe von scheinbar merkwürdigen Gegensätzen. Am deutlichsten werden sie, wenn eine extrem ozeanische Vegetation mit einer extrem kontinentalen verglichen wird. Das ozeanische Großbritannien besitzt in der gemäßigten Region noch am meisten von den lusitanischen Arten, wie z. B. *Arbutus Unedo*, *Laurus nobilis*. Es zeigt also scheinbar noch viele Anklänge an südliche Verhältnisse. Die für die Landschaft so charakteristischen immergrünen Wiesen können in diesem milden Klima oft beinahe das ganze Jahr beweidet werden. An günstigen Orten gedeihen in der Kultur subtropische Gewächse im Freien ohne Schutz und selbst ganze *Jucca*-Alleen lassen sich erzielen. Im scheinbaren Gegensatz dazu steht die Tatsache, daß Arten, die an anderen Orten nur alpin sind, beinahe bis zum Meeresspiegel herabsteigen und sich mit solchen mischen, die gerne als wärmeliebende — es sind ozeanische — Arten bezeichnet werden. Die Baumgrenze liegt zudem auffallend tief und besitzt Mitteltemperaturen (vgl. S. 32), die sonst noch einen üppigen Baumwuchs hervorzubringen vermögen. Auch viele Kulturen können in diesem sonst so bevorzugten Lande nicht mehr gedeihen: Traube und Pfirsich z. B. reifen ihre Früchte im Freien nicht mehr.

In Eurasien bildet Sibirien dazu den schroffen Gegensatz. Die Laubhölzer sind ganz selten geworden und doch reicht die Baumgrenze bei ganz niederen mittleren Temperaturen weit nach Norden. Selbst die ungünstigsten Bodenverhältnisse, nämlich der ewig gefrorene Untergrund, können dem Baumwuchs kein absolutes Hindernis mehr sein. Sogar Kulturen sind auf ihm möglich und Getreide wird in großer Menge gebaut. Ja, es reifen unter diesen kontinentalen Verhältnissen trotz der mittleren Jahrestemperatur unter dem Gefrierpunkt noch Melonen. Einzig unter dem Gesichtspunkt des Klimacharakters sind wir imstande, diese scheinbaren Gegensätze zu verstehen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

12. Thesen.

Aus meinen Ausführungen lassen sich folgende Sätze hervorheben:

1. Die Baumgrenze ist nicht abhängig von mittleren Temperaturen, sondern vom Klimacharakter. Kontinentales Klima verschiebt sie polwärts, in den Gebirgen in bedeutende Meereshöhen, während ozeanisches Klima sie äquatorialwärts oder in den Gebirgen in niedere Meereshöhen verlegt.

2. Wie die Baumgrenze in besonderem Maße vom Klimacharakter abhängig ist, so werden auch durch ihn die Grenzen der Arten und der Pflanzengesellschaften, soweit sie klimatisch bedingt sind, bestimmt.

3. Das kontinentale Klima begünstigt nicht nur den Baumwuchs quantitativ, sondern es fördert den Holzwuchs auch im allgemeinen. Die Pflanzengesellschaften des kontinentalen Klimas bestehen aus stärker verholzten Arten, als die des ozeanischen. Dieser quantitativen Förderung steht eine qualitative Einschränkung gegenüber. Die Schärfe des kontinentalen Klimas verunmöglicht das Gedeihen anspruchsvollerer Pflanzen und gestattet nur eine Auslese von robusteren Arten, während im ozeanischen Klima ein Kosmopolitismus von Gewächsen von verschiedenen Höhenzonen und von verschiedenen Gebieten neben und durcheinander möglich ist.

4. Die Minima der meteorologischen Faktoren charakterisieren wohl den Klimacharakter, aber sie wirken nicht einzeln bestimmend auf die Pflanzenwelt ein, sondern in Verbindung mit den anderen, so daß der durchschnittliche Klimacharakter für die Pflanzenwelt entscheidend zu sein scheint.